

地震よる建物被害を考慮した避難行動シミュレーション

香川大学 賛助会員○藤田零, フェロー 吉田秀典
 東京大学 フェロー 堀宗朗, 正会員 Lalith Wijerathne

1. はじめに

地震災害時に身を守るためには迅速な避難行動が重要である。適切な避難行動のためには起こりうる被害を予測し、事前に備えておく必要があるが、被害が多様であることに加え、実際の避難行動を通してその妥当性や有用性を検討することについては、現実と同じ時間スケールと多大な労力を要することから、シナリオや対策法を数多く試すことは困難である。それには数値解析、特に、地震動解析、構造物応答解析ならびに避難解析を統合した数値解析が有効であるとされており、そのような背景を受け、東京大学地震研究所の堀らは統合地震シミュレータ（以降 IES と称す）を開発している¹⁾。本研究では、高松市を対象に、IES を用いて構造物応答解析を行い、その結果を基に建物被害による道路閉塞を抽出し、さらには、そうした道路閉塞があることを前提とした避難シミュレーションを実施し、被害の程度や有無が避難行動に与える影響を検討する。

2. 解析手法

2.1. 統合地震シミュレータ（IES）¹⁾

IES は、GIS/CAD に蓄積されたデジタルデータを基に構築した仮想現実都市に対して、地震災害を地盤応答・構造物応答・都市応答の3つの段階に分け、各段階を解析することで都市の総合的な地震被害想定を行うものである。

2.2. 構造物応答解析

構造物の地震応答解析には多質点系モデル（MDOF）を使用する。地震動の入力としては、兵庫県南部地震と東北地方太平洋沖地震の強震データを用いて、構造物の底面に時刻歴加速度波形を与える。実際の構造物の構造部材の配置や物性は GIS データに含まれていないため、各構造物は構造関係技術基準に適合するように作られていると考え、GIS データより得られる構造物の底面形状と高さといった外形情報から構造やプロパティを決定する。

2.3 被害の抽出及び可視化

構造物応答解析において、地震によって構造物が損傷・倒壊したと想定し、その構造物を抽出する。構造物の倒壊・損傷の判断は層間変形角を用いる。具体的には、層間変形角に上限値を設けることで、構造物応答解析でその上限値を超えた値を示した構造物は損傷・倒壊しているとみなす。

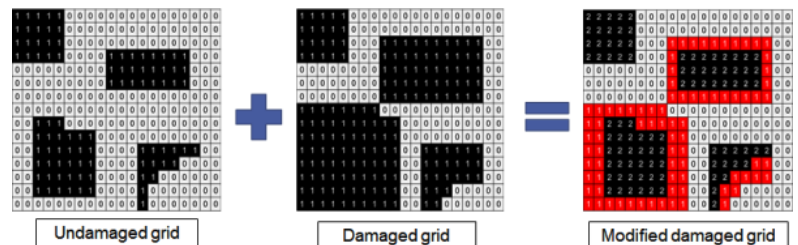


図-1 可視化プログラムの概要

そして、構造物の高さに応じて設定した割合分構造物の周囲に被害が及ぶこととする。さらに、道路空間の閉塞状況が一目で判断でき、被害状況と避難シミュレーション結果の合わせた議論・評価を行うために、建物と被害範囲を区別して表示させるプログラムを作成した。プログラムの概念を図-1に示す。都市モデルの基となるデータは「0」、「1」の2つの数字で構成され、「0」は通行可能を、「1」は通行不可能（構造物）を表している。被害の無い都市モデルのデータと被害を受けた都市モデルのデータを用意し、それぞれのデータを配列化させ、行列として扱い、その和を計算する。計算処理後のデータにおいて、i行j列目の要素が「2」であれば、そこは構造物の位置に該当し、「1」であれば、その要素は被害範囲を表す。そして、「0」であれば通行可能となる。このように、単純な数字で構成されている点、2次元格子という扱いやすいデータ形式である点を利用し、建物と被害範囲を区別したデータに拡張する。

2.4. 避難シミュレーション

避難シミュレーションではマルチエージェントシステム（MAS）を使用する。MASは「エージェント」と「環境」から構成される、「自立した個々の主体が相互に依存し合うシステム」である。「エージェント」は自立した行動主体であり、「見る」・「考える」・「動く」といった機能を有している。また、「環境」はエージェントに影響を及ぼすもの

で、ここでは構造物などの都市に値する。

3. シミュレーション概要と結果

3.1. 都市モデルの構築

避難シミュレーションの一例を示す。シミュレーション対象エリアと避難場所を図-2に示す。なお、避難場所は「たかまつ防災マップ」を基に設定した。被害を想定した都市モデルを構築するために、まず、東北地方太平洋沖地震の強震データを用いて構造物応答解析を行った。その際、許容層間変形角を0.01、被害の影響範囲を建物の高さの20%で被害の抽出を行い、避難シミュレーションの都市モデルへと拡張させた。



図-2 シミュレーションエリア

3.2. エージェントの設定

本研究では、避難エージェントとして自主的な避難行動をとるタイプを採用し、総数2000体を都市モデル上にランダムに配置した。また、エージェントには歩行速度を0.5m/s～1.3m/sの間で一体一体に異なる歩行速度を与えた。

3.3 シミュレーション結果

被害がない場合のシミュレーション結果を図-3示す。図-4は被害を想定した都市モデルで、避難場所となっている高松高等学校・高松工芸高等学校・四番町コミュニティセンターで被害が見られ、高松高等学校では東側の入り口が使用できなくなり、四番町コミュニティセンターに関しては、建物周囲が完全に閉塞し、避難場所として使用できなくなった。その結果、高松高等学校の東側の入り口付近のエージェントは高松工芸高等学校・中央公園・四番町小学校跡地に分散して避難している。さらに、四番町コミュニティセンター付近のエージェントは距離的に近い四番町小学校跡地へ向かっている。図-5、図-6は任意のエージェントの避難軌跡を表示しており、青線は被害がないパターンエージェントの軌跡で、赤色は今回のシミュレーションのエージェントの軌跡である。図-5では、大きく迂回していることが分かり、図-6では、別の避難場所に避難していることが分かる。その結果、避難完了時間に大幅な遅れが生じ（図-7参照）、また、各避難場所の避難者数に変化が表れていることが分かる（図-8参照）。また、図-8より、四番町コミュニティセンターが使えなくなったことで、周辺の四番町小学校跡地や高松工芸高等学校へ避難場所を変更していることが分かる。

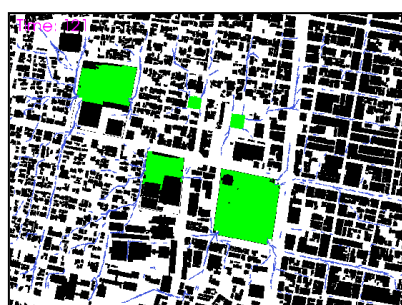


図-3 避難状況（被害なし）

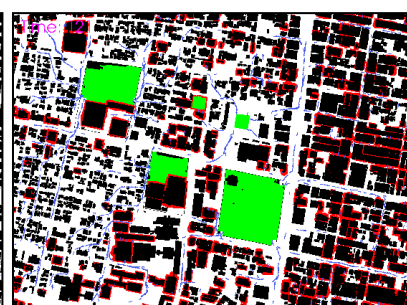


図-4 避難状況（被害あり）

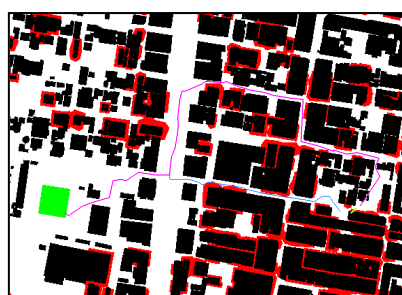


図-5 エージェント避難軌跡1

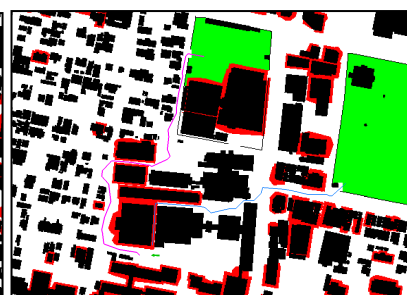


図-6 エージェント避難軌跡2

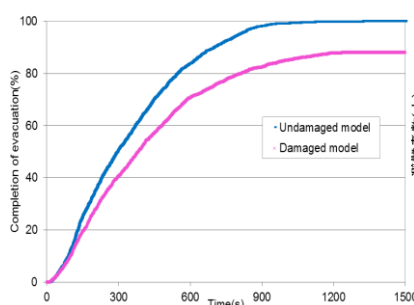


図-7 避難率 - 時間関係

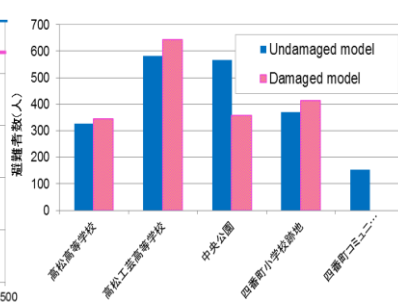


図-8 避難場所別避難者数

また、図-8より、四番町コミュニティセンターが使えなくなったことで、周辺の四番町小学校跡地や高松工芸高等学校へ避難場所を変更していることが分かる。

4. まとめ

本研究で作成した被害抽出及び可視化システムを避難シミュレーションへ適応させた。シミュレーションの結果、被害の有無あるいは被害状況の違いによって避難行動、避難時間に変化が見られた。

参考文献

- 1) 堀宗朗・田中謙吾・Sobhaninejad Gholamreza・市村強・小國健二：自然災害シミュレーションのためのGISから都市モデルへの汎用的データ変換，土木学会論文集A，vol.66，No.1，pp.1-12，2010